

Monitoramento de Consumo de Energia, Utilizando Arduino e Sensor de Tensão e Corrente Elétrica

Matheus Chrispim Pelegrin¹, Paulo João Martins¹

¹Curso de Ciência da Computação – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

– Criciúma – SC – Brasil

matheuss.chrispim@gmail.com, pj@unesc.net

Abstract. *Electricity consume is an issue that is addressed due to its great importance in the economy and also the high impact it generates in relation to the environment. To monitor and identify the higher levels of consumption, a prototype for monitoring electricity consumption was developed using the integration of the arduino with current voltage sensors, which enabled the evaluation and verification of devices connected to the power grid, or how much they can consume more. than should be used incorrectly, or be obsolete, being able to identify the kWh value of the monitored devices, aware how much electricity is consumed by the device.*

Resumo. *O consumo de energia elétrica é um assunto que é comumente abordado devido a sua grande importância na economia e também do alto impacto que gera em relação ao meio ambiente. Para monitorar e identificar possíveis níveis elevados de consumo desenvolveu-se o protótipo de monitoramento de consumo de energia elétrica utilizando a integração do arduino com sensores de tensão de corrente, que proporcionou avaliar e verificar dispositivos conectados à rede elétrica, o quanto podem consumir mais do que devem por serem utilizados de maneira incorreta, ou estarem obsoletos, podendo identificar o valor em kWh dos aparelhos monitorados, tornando consciente o quanto de energia elétrica é consumida por aparelho.*

1. Introdução

A geração e consumo de energia elétrica são tópicos que sempre entram em pauta no decorrer dos anos, visto que esse assunto engloba tanto questões econômicas quanto ambientais, onde cada vez mais tenta-se encontrar um consenso entre ambos, para que possam trabalhar em harmonia. Nos últimos anos, os níveis de consumo de energia possuem uma grande variação, conforme dados registrados até setembro de 2020, o consumo de energia elétrica no Brasil em 2019 chega a ser até 4,6% maior que em relação a 2018 (2020).

Com base nesse constante crescimento no consumo e consequentemente muitas vezes no aumento das tarifas da conta de luz, muitas pessoas tem dificuldade em monitorar e controlar seus gastos com o consumo de energia elétrica, onde em alguns casos acabam não pagando sua fatura ou realizando o pagamento em atraso, conforme pesquisa do Serviço de Proteção ao Crédito (SPC), que informa que, por exemplo, em 2015, 7,1% das famílias deixaram de pagar suas contas, onde mais da metade desse valor já estavam com no mínimo um ano com as contas atrasadas [Minas e Minas 2015].

Algumas medidas vêm sendo tomadas visando reduzir os gastos contínuos com energia elétrica, como por exemplo, evitar longos banhos quentes, ou até mesmo

calcular a dosagem de detergente em pó e amaciante nas roupas para que a máquina de lavar faça menos ciclos de enxágue, programando o ar-condicionado para que o mesmo seja desligado após atingir certa temperatura no ambiente entre outras diversas medidas adotadas pela população [Nery 2016].

Com o propósito de auxiliar a monitorar e identificar o consumo de energia, foi implementado o protótipo de monitoramento de consumo de energia elétrica de aparelhos individuais, que através da entrada da tensão da rede elétrica que sai pela tomada e da corrente que flui por meio dos cabos dos até o aparelho eletrodoméstico seja capaz de identificar o consumo do mesmo, e também a possibilidade de irregularidades de funcionamento, como por exemplo um consumo elevado, também avaliando o uso do dispositivo monitorado pela unidade de medida utilizada para avaliar e gerar o faturamento de consumo de energia elétrica em empresas e residência, o kilowatt horas (kWh).

Os objetivos específicos do presente estudo compreendiam em: aplicar os conceitos da linguagem *open-source* arduino; descrever os aspectos de geração de energia elétrica; compreender e aplicar cálculos de grandezas elétrica; esboçar o impacto do consumo de energia elétrica; implementar o protótipo para monitoramento e também a validação do mesmo ao longo das leituras de consumo de aparelhos eletrodomésticos.

Estudos e pesquisas com propósito semelhante já realizados por outros acadêmicos como por exemplo, a pesquisa efetuada por Vilas Boas Siqueira (2014), onde foi desenvolvido uma central de monitoramento de consumo energético com o uso de um sensor de corrente acoplado ao Arduino que consistia em exibir para o consumidor final, o valor gasto em reais do seu consumo de energia, tornando possível monitorar e também proporcionar uma redução dos gastos.

O estudo elaborado por De Souza Melo (2013), objetivava o desenvolvimento de um medidor eletrônico de demanda de consumo de energia elétrica residencial com o acesso remoto via browser tendo como finalidade facilitar o monitoramento e gerenciamento do consumo de energia elétrica, onde foi utilizado um circuito microcontrolador que recebe sensores de corrente e tensão de maneira analógica e converte o mesmo para digital, calculando a potência ativa, reativa e o fator de potência. Os resultados obtidos são enviados para um display para a visualização local ou por meio de uma página através do navegador de internet.

Por meio do protótipo de monitoramento de energia elétrica, pode-se obter uma leitura do consumo de cada equipamento eletroeletrônicos de uma residência, prevenindo que equipamentos que não necessitam estar ligados o tempo todo, fiquem tempos demais conectados a energia. A aplicação do protótipo em uma residência adentra na área de TI verde, pois o mesmo pode auxiliar na prática sustentável de consumo de energia de maneira consciente e possibilitar um menor gasto com energia elétrica.

2. Fundamentação Teórica

Para o desenvolvimento do protótipo de monitoramento de energia elétrica e aplicação do mesmo para avaliar o consumo de energia elétrica de um dispositivo conectado na rede, foi necessário um estudo e pesquisa com o seguinte embasamento teórico sobre alguns conceitos, como por exemplo, o estudo e conhecimento sobre as grandezas

elétricas bem como suas fórmulas e cálculos, e também sobre como funciona a ferramenta de prototipação e sobre a Internet das coisas.

2.1. Energia elétrica e suas grandezas

As grandezas elétricas que compõem o que se compreende como eletricidade visam separar e identificar diferentes maneiras de tratar a energia elétrica e são conhecidas como: carga, tensão, corrente, resistência, potência e também a própria energia elétrica.

A carga elétrica é uma grandeza fundamental da energia elétrica, não podendo ser definida em termos como outras grandezas. Há dois tipos de carga elétrica, a composta por prótons (+) e a composta por elétrons (-). A unidade de medida que representa a carga elétrica é o Coulomb (C), e a menor quantidade da mesma conhecida é a carga do elétron ($1,60210 \times 10^{-19} \text{C}$) [Santos 2011].

A unidade de medida utilizada para a tensão elétrica é o Volt, que é representada pela letra V, em maiúsculas, para representar os sinais que são contínuos, e em minúsculo, v, para sinais alternados.

A corrente elétrica em unidade de medida é representada pelo Ampere (A) e sua grandeza pelo I, para correntes contínuas ou i, para alternadas, ela pode ser calculada pela carga que atravessa determinado corpo dividido sobre o intervalo de tempo considerado que a mesma leva para realizar a travessia, que pode ser representada pela Fórmula (1), onde ΔQ se refere a carga elétrica total que passa o corpo, e Δt , o tempo que a mesma leva para passar (expresso em segundos).

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1)$$

Expressa em ohms (Ω), a resistência elétrica é representada pela letra R, e sua resistência varia de acordo com o material que é utilizado para se opor a corrente elétrica. Para se calcular a resistência de um determinado corpo é utilizado a 2ª lei de ohm, conforme Fórmula (2), sendo ρ , a resistividade do material, multiplicado pela divisão do comprimento do corpo (l) pela área da reta transversal (a) do mesmo.

$$R = \rho * \frac{l}{A} \quad (2)$$

A potência é a capacidade de converter energia em um determinado intervalo de tempo, ou seja, quanto maior a capacidade de energia convertida em um menor intervalo de tempo, maior será a potência. A forma de se calcular a potência pode ser determinada de acordo com a outras grandezas, por exemplo as fórmulas (3), (4) e (5):

$$P = V * I \quad (3)$$

$$P = R * I^2 \quad (4)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (5)$$

Na fórmula (1), a potência é o produto da tensão, multiplicando a corrente, na fórmula (2), é multiplicado o valor de resistência pela corrente elevada ao quadrado para se encontrar o valor da grandeza e na fórmula (3), a divisão da tensão elevada ao quadrado pela resistência do circuito ou aparelho, a potência é expressada com a unidade de medida chamada Watt (W). A energia utilizada nas residências denominada de energia elétrica corresponde a uma diferença de potencial entre a corrente da mesma pelo tempo em que é fornecida. A mesma também é considerada pela legislação como um bem móvel [Martins 2009].

Sua unidade de medida pode ser expressa em joule (J), porém, pode também ser medida em quilowatt (*kiloWatt, em inglês*) por hora (kWh), que é a potência (P) em quilowatt (kW) e o intervalo de tempo proposto em hora (h). A fórmula (6) representa o cálculo da energia elétrica geralmente utilizada pelas concessionárias de energia.

$$kWh = \frac{P}{1000} * h \quad (6)$$

2.2. Consumo de Energia Elétrica

O consumo de energia elétrica é algo que sempre impacta tanto na questão econômica, quanto na questão ambiental, no caso da preservação da natureza e também na redução de gastos com energia elétrica. [De Souza Melo 2013].

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o consumo de energia é um dos indicadores da qualidade de vida e de desenvolvimento de uma sociedade, o mesmo implica tanto na área industrial e comercial, quanto na vida dos cidadãos, conforme mostra Figura (1) o consumo de energia no setor residencial, enfatizando o consumo de eletricidade que é o que possui o maior consumo e vem apresentando um crescimento gradativo.

FONTES	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	SOURCES
GÁS NATURAL	1,0	1,1	1,2	1,2	1,4	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	NATURAL GAS
LENHA	32,6	30,9	28,0	27,2	24,2	24,6	25,4	24,4	24,4	24,7	FIREWOOD
GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO	26,4	26,7	27,4	26,9	27,5	26,3	26,2	26,5	26,4	25,9	LIQUEFIED PETROLEUM GAS
QUEROSENE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	KEROSENE
GÁS CANALIZADO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GASWORKS GAS
ELETRICIDADE	37,4	39,1	41,4	42,6	45,3	45,8	45,2	46,0	46,2	46,4	ELECTRICITY
CARVÃO VEGETAL	2,5	2,2	2,1	2,0	1,7	1,9	1,9	1,7	1,4	1,4	CHARCOAL
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	TOTAL

Figura 1 - Consumo de energia no setor residencial
Fonte: Balanço energético nacional 2019

Esse consumo impacta diretamente na economia, pois acaba sofrendo variações diversas vezes, e muitas delas gerando um aumento considerável, porém não só na

economia mas também no meio-ambiente em que está inserido, trazendo sérios impactos ambientais [Melo e Roque 2016].

3. Materiais e Métodos

A presente pesquisa foi realizada com as seguintes etapas: pesquisa e aquisição dos sensores e ferramentas de prototipação, montagem do circuito embarcado do protótipo, calibração dos sensores para ajuste de precisão e monitoramento para apuração de dados para análise de consumo. Como base para a prototipação, foi selecionado o microcontrolador arduino, o dispositivo funciona como um microcomputador convencional, pois possui um microprocessador, memórias RAM e flash, temporizadores e entre outros, para que se possa realizar diferentes tarefas ou ações com o mesmo, também programando suas funcionalidade e tarefas que são compiladas internamente no dispositivo.

O ambiente para desenvolvimento do programa que é carregado para dentro da ferramenta é chamado de IDE do inglês *Integrated Development Environment*, que é traduzido para: ambiente de desenvolvimento integrado, o mesmo permite que seja implementado vários tipos diferentes aplicações, pois a plataforma de desenvolvimento e o dispositivo em si são *open-source*, sendo disponibilizada para qualquer pessoa que queira desenvolver e também para qualquer propósito desejado[Whats is Arduino? 2018].

O microcontrolador pode ser integrado com muitos tipos de hardware, sendo eles sensores, outros computadores, motores entre outros e também pode comunicar-se com softwares, como um banco de dados ou até mesmo um servidor web, sendo capaz de trocar informações e registrar dados coletados pelo mesmo.

De acordo com Figura (2), o modelo utilizado para realizar a prototipação foi o *Ethernet board*, pois além de ser programável como o arduino convencional, já possui as conexões necessárias para comunicação com a rede cabeada.

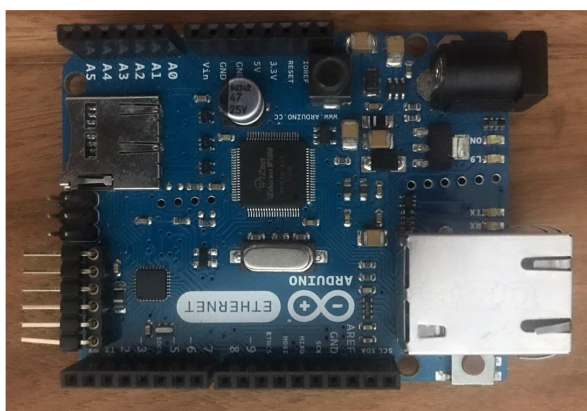


Figura 2 - Arduino Modelo Ethernet
Fonte: Autor

O sensor avaliado para capturar os dados da corrente elétrica dos aparelhos monitorados foi o sensor de corrente não invasivo, *Split-Core Current Transformer* SCT-013-000, com uma dimensão de 2 centímetros na parte inferior, na parte lateral cerca de 5 centímetros, na parte superior, 3 centímetros e uma abertura de 13x13

milímetros, o mesmo atua como um sensor não invasivo, pois o mesmo não precisa interromper o circuito para se obter os dados, sendo possível apenas envolver os cabos elétricos para que o mesmo entre em ação conforme Figuras (3) e também com o seguinte esquema para o monitoramento da corrente (Figura 4).



Figura 3 - Sensor de Corrente SCT-013-000
Fonte: Autor

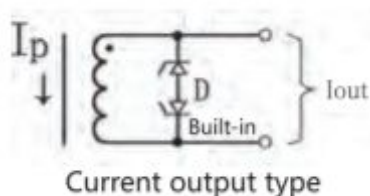


Figura 4 - Diagrama esquemático SCT-013-000
Fonte: Datasheet

Ao envolver um dos cabos, o sensor capta a corrente que passa entre ele e transmite diretamente ao circuito montado, porém o mesmo necessita que apenas um dos cabos da rede estejam inseridos na parte interna, por exemplo, ao envolver o cabo fase e neutro, geram correntes opostas que se anulam, tornando a medição incorreta. De acordo com o *datasheet* do sensor SCT-013-000, ele suporta até 100 Amperes (A) de corrente de entrada, ou seja, que ele irá ler corretamente, e irá liberar na sua saída até 33 miliamperes (mA).

Para a tensão, foi utilizado o sensor do tipo voltímetro transformador ZMPT101B, que suporta até 250 Volts (V), possui uma precisão de leitura de $\pm 1\%$ e opera com uma temperatura que varia de -40 até 70°C e também pode ser ajustado e calibrado diretamente com o microcontrolador arduino e seu potenciômetro acoplado na própria placa para ajustar a precisão da tensão de saída de uma tomada ou caso necessário de um dispositivo que está produzindo a energia conforme o *datasheet* Calibration Of Zmpt101b Voltage Sensor Module Using Polynomial Regression For Accurate Load Monitoring (2017).

O mesmo possui uma utilização um pouco diferente do sensor de corrente, pois é necessário que esteja conectado diretamente na rede elétrica, portanto, para cada

alteração ou mudança no componente que não envolva ajustar seu potenciômetro para calibrá-lo, o circuito não poderia estar em funcionamento devido medidas de segurança, pois estava relacionado a energia diretamente. Como solução, foi implementado um adaptador de tomadas, criando uma extensão que é conectada diretamente na rede através de uma plug macho e fêmea, interligando o aparelho monitorado, no meio da extensão são acoplados outros dois cabos que foram conectados diretamente no sensor de tensão para tornar mais seguro o monitoramento e manipulação do sensor, conforme figura (5) e (6) são imagens do sensor e da adaptação realizada como medida de segurança para manuseio do mesmo.

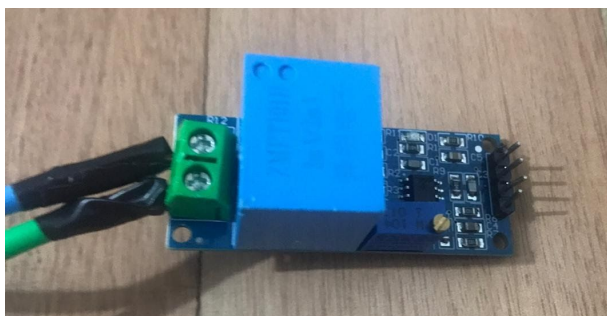


Figura 5 - Sensor Tensão ZMPT101B

Fonte: Autor



Figura 6 - Extensão de Adaptação para Conexão com a Rede Elétrica

Fonte: Autor

Para aquisições dos materiais necessários para o desenvolvimento da aplicação embarcada, foi realizado um levantamento com o intuito de identificar os custos de cada componente utilizado na pesquisa (Tabela 1)

Tabela 1. Custos componentes para desenvolvimento

Dispositivos	Valor
Sensor Tensão ZMPT101B	US\$ 7,31
Sensor Corrente SCT-013-000	US\$ 7,06
Arduino Ethernet	US\$ 35,68
Resistores, capacitores e Jumpers	US\$ 7,51

*Valores utilizados para compra em Março de 2020.

3.1. Desenvolvimento do Protótipo

A elaboração do circuito foi realizada fundamentada em estudos de outros autores e adaptada conforme a presente pesquisa, utilizando como base para interconexão dos sensores uma *protoboard*, ou, placa de ensaio, eliminando a possibilidade de soldagem de cabos e componentes, facilitando a comunicação direta o dispositivo de prototipação.

A montagem foi iniciada inserindo um capacitor de 100 μ F, juntamente com dois resistores de 1k Ω , visando eliminar “ruídos” na leitura, a conexão do capacitor foi interligada diretamente ao polo positivo do sensor SCT-013-000, no polo negativo do mesmo foi adicionado dois resistores conectados em série de 20 Ω , para realizar um trabalho de resistividade de carga, visando aumentar a precisão da leitura da corrente ao monitorar um dispositivo. O polo negativo, foi conectado no circuito pela entrada analógica A1, é por meio desta que a aplicação recebe os valores da corrente monitorada.

O sensor de tensão ZMPT101B, opera de maneira diferente, conectado diretamente na rede elétrica, realizando as conexões com todo o circuito desconectado da energia e inserido na porta analógica A2 da placa. Para calibrar o sensor e aumentar sua taxa de precisão de leitura, foram utilizados os valores de tabela conforme seu *datasheet* e também utilizando seu potenciômetro que já está diretamente acoplado no sensor, o mesmo é utilizado para ajustar a tensão visando igualar com o que está saindo da rede elétrica.

Evitando complicações e possíveis acidentes ao utilizar o sensor de tensão, foi adaptado uma extensão conectada ao sensor, tornando mais simples a troca de aparelhos para realizar o monitoramento (Figura 7), concluindo a construção do protótipo (Figura 8) e mostrando o fluxo de comunicação e conexão para que as medições sejam realizadas pelo dispositivo (Figura 9).

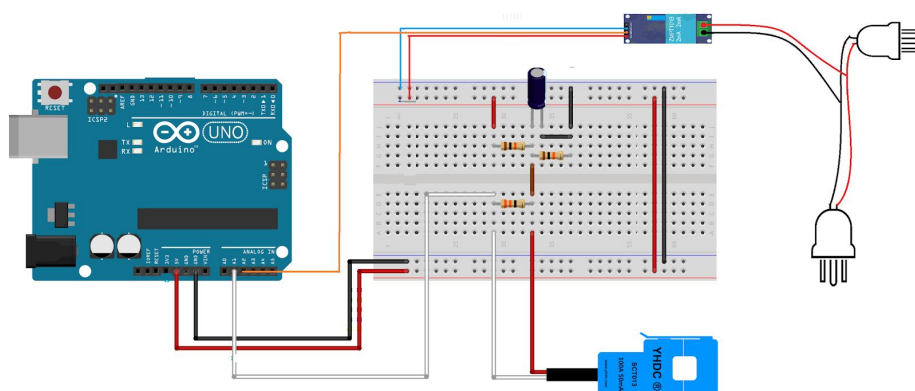


Figura 7 - Circuito completo para monitoramento de energia elétrica
Fonte: Adaptado de Thomsem (2020)



Figura 8 - Circuito Completo Exemplo Físico

Fonte: Autor

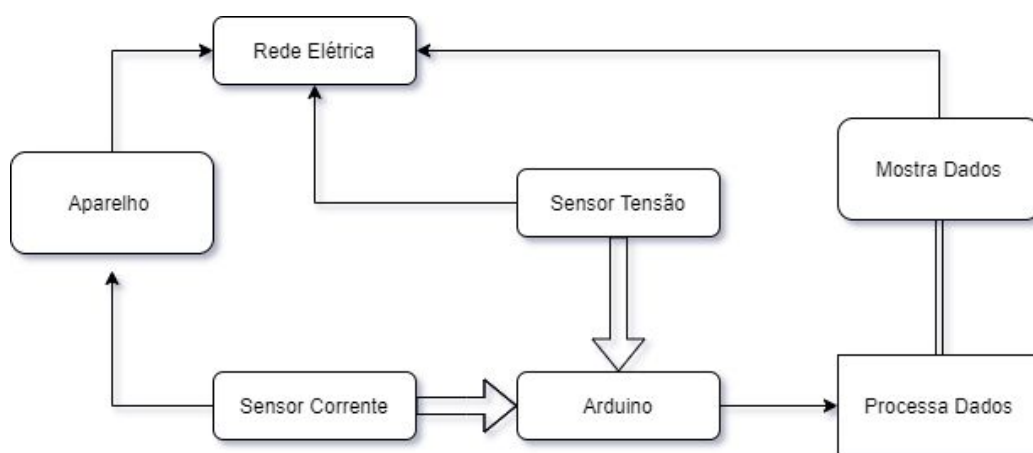


Figura 9 - Fluxo de monitoramento do circuito

Fonte: Autor

Para realizar a integração dos sensores, e principalmente relacionada ao monitoramento de energia, foi utilizada uma biblioteca desenvolvida pela organização: *OpenEnergyMonitor*. A biblioteca denominada de *Emonlib*, foi construída com funções específicas para a leitura e monitoramento de energia, contendo uma implementação de funções e *procedures* para realizar a captura dos dados pelos sensores analógicos e converter para informações digitais.

A exibição dos dados foi realizada utilizando a comunicação via internet juntamente com o modelo *ethernet*, executando a configuração utilizada na biblioteca própria, no qual foi parametrizado a conexão como: IP, endereço MAC, máscara de rede, *gateway* e DNS.

A página do *browser* foi configurada diretamente na ferramenta, mostrando os valores de tensão medidos, a corrente, o tempo em milissegundos convertidos para hora, a potência ativa gerada pelo aparelho conectado à rede elétrica e como resultado final o valor em kWh calculado coletado. Para medir o tempo de leitura dos dados foi utilizado uma função própria do arduino, porém a mesma mostra o tempo apenas em milissegundos, sendo necessário realizar a conversão para segundos ou seja, quando obtivesse uma medida de 1000 milissegundos, ao dividir por 1000, seria obtido 1

segundo e ao dividir 60 segundos por 60 seria obtido 1 minuto na leitura minutos e por fim a medida de tempo em hora conforme equações (7), (8) e (9).

$$seg = \frac{ms}{1000} \quad (7)$$

$$min = \frac{seg}{60} \quad (8)$$

$$hs = \frac{min}{60} \quad (9)$$

O valor de consumo de um aparelho eletrodoméstico em kWh foi calculado utilizando a equação (6). O resultado obtido é mostrado na página configurada no desenvolvimento do protótipo para visualização e compreensão do consumo do aparelho monitorado com base no valor mostrado em uma fatura de energia elétrica tomando como base, os valores são apresentando em tela conforme Figura (7)



Figura 10 - Visualização dos dados

Fonte: Autor

4. Resultados e Discussões

Para validar o protótipo construído, bem como os dados coletados pelo mesmo, foi realizado o monitoramento de quatro aparelhos eletrodomésticos, sendo eles: dois aparelhos de TV, uma delas do tipo *smart* e outra um modelo de tubo, com um tempo de uso avançado, um ferro de passar roupas e um refrigerador. O tempo total monitorado de cada aparelho foi de no máximo 1 hora, levando em consideração que o valor de kWh é mostrado com base na hora de consumo da rede elétrica. Como medida comparativa, foram utilizados estudos correlacionados para apontar diferenças e tratativas em relação às pesquisas realizadas.

4.1. Apuração de Dados e Resultados

Para comprar os dados obtidos através do monitoramento, outros estudos utilizaram aparelhos para verificar o valor de tensão e corrente de uma tomada ou aparelho, utilizando um multímetro, tornando capaz de obter um valor base para as medições. Na presente pesquisa, foi utilizado a própria etiqueta de cada aparelho, contendo informações sobre a tensão utilizada para tal e também a potência que o mesmo possui, construindo assim uma base para estimar os valores da corrente e também consumo em kWh.

Ao avaliar o consumo de energia elétrica do ferro de passar roupas, antes de iniciar o monitoramento foi consultado diretamente a etiqueta de especificações contida no próprio aparelho, onde o mesmo mostrava que deveria estar ligado em uma rede de 220 V e que possui um potência 2000 W (Figura 8) e realizando o cálculo para se obter uma estimativa do valor de corrente manualmente utilizando a Fórmula (8).

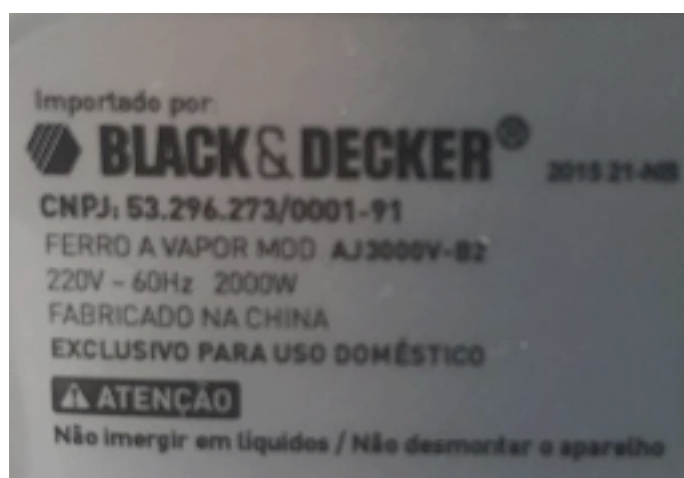


Figura 11 - Dados ferro de passar roupas

Fonte: Autor

$$I = \frac{P}{V} \quad (10)$$

Ao aplicar o cálculo, obteve-se um valor de corrente de aproximadamente 9,09 A, utilizado como base para identificar se as leituras estariam precisas no momento de realizar o monitoramento de consumo. Após o tempo total de monitoramento, alcançou-se os resultados mostrados com leituras obtidas a cada 10 minutos (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de consumo Ferro de Passar

Tempo (min.)	Corrente (A)	Potência ativa (W)	kWh	Tensão (V)
10	18,55	3.947,384	0,631	213
20	7,92	1.736,36	0,573	219
30	9,26	2.017,58	1,008	218

40	9,31	1.131,72	0,746	217
50	9,40	1.691,73	1,404	219
60	8,29	2.349,74	2,349	219
Média	10,45	1856,36	1,023	217,5

Analisando a Tabela (2) como resultado do primeiro monitoramento foi possível identificar que os valores de consumo se aproximam, do valor calculado manualmente com base nas informações do fabricante disponibilizadas no próprio aparelho eletrodoméstico. Conforme era alterado o tipo de tecido no próprio aparelho, o nível de consumo variava, pois para cada tipo de roupa é necessária uma temperatura diferente para passar a mesma. Coletando os dados do refrigerador, cuja potência e tensão foram identificadas pelas informações constatadas no próprio aparelho, o mesmo possui os valores de 125W e 220V respectivamente como mostra a Figura (9).


Consul		Produzido por: Whirlpool S.A. R. D. Francisco 7200 - Zona Indust. Joinville - SC CEP 89215 - 900 CNPJ 59.105.999/0039 - 56		CLAS.ISOL.	01
				CLAS.TEMP.	T
MODELO	CRD49ABBN	TENSAO	220 V~	LADO ALTA	1479 kPa
SERIE	JA6626651	FREQUENCIA	60 Hz	LADO BAIXA	545 kPa
CARGA REFRIC.	75 g	CORRENTE	1.2 A	POT. DEGELO	
TIPO REFRIC.	R600a	CAP. CONG. 24h	5.0 kg	POTENCIA	125 W
ISOL. TERM.	C - PENTANO	TIPO PRODUTO		COMBINADO	
CODIGO DIAGRAMA		CRD49ABBN000			
W10435489					

Figura 12 - Dados Refrigerador
Fonte: Autor

Para avaliação dos dados também foram inseridos os valores em uma tabela (3), além de acompanhar o monitoramento durante o período de 1 hora, porém metade do tempo decorrido foram abertas as portas para avaliar o consumo quando o motor de refrigeração é acionado para manter a geladeira resfriada.

Tabela 3. Valores Consumo Refrigerador

Tempo (min.)	Corrente (A)	Potência ativa (W)	kWh	Tensão (V)
10	0,57	123,78	0,019	218
20	0,63	138,64	0,045	219
30	0,53	116,48	0,058	218
40	0,73	157,12	0,103	216

50	9,64	2.081,35	1,373	216
60	9,45	2.047,49	2,047	217
Média	3,59	777,47	0,61	217,3

Observando os dados coletados ao medir o consumo energético do aparelho de refrigeração, o mesmo possui uma disparidade após os primeiros 30 minutos, onde a leitura foi realizada com as portas do refrigerador abertas. Nota-se que os primeiros 10 minutos após a abertura a força necessária teve um leve aumento, após o motor de refrigeração ser acionado para manter o aparelho resfriando corretamente, os níveis de consumo foram elevados ainda mais, devido a força necessária para manter a temperatura interna do equipamento eletrodoméstico.

Os últimos eletrodomésticos monitorados foram os dois aparelhos de TV, pois se tratando do mesmo tipo de aparelho porém de ano, marca e modelos diferentes, tornou-se possível realizar um comparativo entre eles.

O primeiro a ser monitorado foi de 29 polegadas, modelo de tubo, com as especificações de tensão e corrente respectivamente 220V e 95W o qual foi tomado como base para aplicar o cálculo da corrente elétrica (ver Fórmula 8), tais informações foram retiradas do manual do fabricante para avaliar e comparar com as medidas retornadas no protótipo (2020).

A segunda TV monitorada foi uma do tipo *smart TV*, da marca Philco, de 32 polegadas com as referências disponibilizadas no próprio aparelho, onde foi possível identificar que a mesma suporta tensão de 100-240 V (Figura 10) e possui um potência de 80W.



Figura 13 - Dados TV Smart 32''

Fonte: Autor

Conforme Tabela (4) e (5), foram disponibilizados os dados dos dois dispositivos em conjunto para identificar e comparar os níveis de consumo.

Tabela 4. Monitoramento Tv 29' Tubo

Tempo (min.)	Corrente (A)	Potência ativa (W)	kWh	Tensão (V)
10	0,427	90,48	0,014	217
20	0,40	87,36	0,028	216
30	0,41	87,89	0,043	216
40	0,40	86,50	0,057	216
50	0,40	86,90	0,072	216
60	0,40	85,77	0,085	217
Média	0,41	87,48	0,050	216,3

Tabela 5. Monitoramento Tv 32' Smart

Tempo (min.)	Corrente (A)	Potência ativa (W)	kWh	Tensão (V)
10	0,36	80,03	0,012	221
20	0,33	71,80	0,023	221
30	0,33	82,26	0,041	219
40	0,33	82,50	0,054	220
50	0,32	80,24	0,066	220
60	0,33	81,32	0,081	218
Média	0,33	79,74	0,046	219,8

Analisando os valores obtidos oriundo do monitoramento dos dois aparelhos de televisão, tornou-se possível avaliar que um aparelho mais novo, apresenta um nível de consumo relativamente menor que um modelo antigo, notou-se que conforme o uso, o nível de consumo em kwh, se torna mais expressivo quanto maior o tempo em que o aparelho permanecer ligado, onde foi possível verificar que neste caso, por ser um aparelho obsoleto e com vários anos de uso, acaba exigindo mais da rede elétrica, necessitando realizar mais força para sua função, impactando no consumo total.

4.2. Discussão e Comparativo dos Resultados

A presente pesquisa, após implementado o protótipo e coleta dos dados, foi comparada com temas semelhantes ao abordado, como por exemplo, o estudo realizado por De Souza Melo (2013), onde foi desenvolvido um medidor de demanda de energia elétrica,

utilizando o acesso remoto através do acesso à internet, onde o mesmo utilizando a mesma plataforma de prototipação, mostrou que ao conectar o dispositivo na rede elétrica utilizando apenas um sensor de corrente, tornou possível verificar e monitorar o consumo de energia elétrica juntamente com a comunicação.

Algumas diferenças foram apontadas em relação à pesquisa, em relação ao protótipo implementado pelo autor do presente artigo, foi possível identificar que por mais que seja semelhante a questão da visualização das informações por meio de uma página do *browser*, em questão à prototipação e dos componentes utilizados, Gilberto (2013), utilizou o sensor conectado diretamente à rede elétrica envolvendo um filtro de linha e um transformador para auxiliar na obtenção dos dados, dificultando o manuseio do mesmo caso fosse necessário realizar algum tipo de manutenção na aplicação embarcada, onde como diferencial são utilizados sensores separados para avaliar a tensão e corrente, e também não envolvendo diretamente a manipulação de cabos conectados na rede elétrica, utilizando uma extensão como adaptador para realizar a conexão direto com uma tomada e também o uso de sensor não invasivo que não requer a intervenção direta nos cabos da rede elétrica.

A pesquisa a aplicação realizada por Vilas Boas Siqueira (2014), contou com o uso do sensor SCT-013-00, no qual foi baseado para a tomada de decisão de qual sensor utilizar para o atual estudo, onde o mesmo foi implementado juntamente com o arduino para monitorar o consumo de uma residência como um todo, aplicando o sensor configurado junto com a plataforma embarcada diretamente na saída do medidor de energia externo de uma residência, monitorando o consumo gerado por um período de 24 horas. Entretanto, o mesmo avalia o uso da energia elétrica de uma maneira geral, diferindo da presente pesquisa, que teve como objetivo monitorar a utilização energética de uma residência através de seus aparelhos de maneira individual, visando identificar os eletrodomésticos que mais consomem e quando esse nível é aumentado, ou se há o mesmo tipo de dispositivo, porém acabam consumindo mais que o esperado. Os dois estudos relacionados ao projeto vigente, serviram como base para o estudo e elaboração do mesmo, onde tornou possível identificar pontos que auxiliaram no desenvolvimento e aplicação prática da pesquisa.

5. Conclusão

O protótipo implementado para monitorar o consumo de energia, possibilitou acompanhar e identificar o gasto de aparelhos eletroeletrônicos, mostrando por entre os sensores utilizados no desenvolvimento do circuito embarcado, os valores analógicos da rede elétrica, permitindo visualizar as variações de voltagem e amperagem que incidem diretamente no funcionamento de um dispositivo conectado à rede, onde quando o mesmo está muito abaixo do especificado pelo fabricante do aparelho, pode acabar apresentando problemas.

No decorrer da pesquisa e implementação do protótipo identificou-se uma série de melhorias que devido a fatores externos como tempo reduzido e também o nível de complexidade atingido, fica em aberto sugestões como integrações futuras utilizando o conceito de Internet das coisas, onde o protótipo realizaria uma comunicação diretamente com a internet e outros dispositivos através de aplicativos *mobile* e também o uso de um banco de dados que seja capaz de armazenar a grande quantidade de dados gerada pelas leituras realizadas ao monitorar diversos equipamentos eletrodomésticos

ou eletroeletrônicos.

A corrente medida pelo sensor de corrente SCT-013-000 e o próprio sensor, possibilitam uma maneira segura de obter-se dados da corrente que flui dos cabos do aparelho conectado à tomada. Tornou-se possível acessar os dados monitorados pela página do *browser* e realizar o monitoramento do mesmo à distância, tornando desnecessário o acompanhamento com um dispositivo desktop diretamente conectado com o microcontrolador para verificar os valores no decorrer do tempo em que era medido o consumo de energia.

Com os dados disponibilizados pelas interações e cálculos realizados na implementação da aplicação embarcada, proporcionou-se a identificação de níveis de consumo de energia elétrica da aparelhagem que se utiliza numa residência, como foi aplicado na presente pesquisa, tornando possível observar quando uma geladeira permanece durante muito tempo aberta ou há várias aberturas durante um período e também quando há dois equipamentos, como o exemplo utilizado dos televisores, de modelos distintos, ou aparelhos antigos, permitindo a visualização do consumo e a força gerada para manter o equipamento em funcionamento com a potência ativa, para que o mesmo tipo de trabalho seja realizado, apresentando a opção para quem utiliza, de se conscientizar e procurar um uso mais eficiente da energia contratada, tomando iniciativa, com base nos dados mostrados para reduzir o consumo de energia.

Referências

Balanco Energético Nacional (2019). Tradução .

Brasil, ANEEL. (2017) “Parte 1 Energia no Brasil e no mundo”, http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf, Maio.

Calibration Of Zmpt101b Voltage Sensor Module Using Polynomial Regression For Accurate Load Monitoring (2017).

De Souza Melo, G. (2013).” Medidor De Demanda De Energia Elétrica Residencial Com Acesso Remoto”. Centro Universitário de Brasília.

Evans, D. (2011). “*A Internet das Coisas Como a próxima evolução da Internet está mudando tudo*”. Tradução.

Função DSC CCE (2020), <https://www.yumpu.com/pt/document/read/6519353/funcao-dsc-cce>, [accessed on Nov 25].

Grandezas Elétricas (2018). <http://www.eficien.com.br/fontes-energia-impactos>, [acesso em 10 de Maio].

Martins, G. (2009). Eficiência energética.

Minas, E. e Minas, E. (2015). Pagamento das contas estrangula o orçamento familiar. http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2015/03/11/internas_economia,626195/contas-estrangulam-orcamento-familiar.shtml, [acesso em 16 de Abril].

Nery, A. (2016). G1 > Economia e Negócios - Notícias - Como reduzir o consumo de energia elétrica. http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL64518-9356,00.html, [acesso em 20 de Abril].

Thomsen, A. (2020). Medidor de corrente não invasivo com Arduino - FilipeFlop. <https://www.filipeflop.com/blog/medidor-de-corrente-sct013-com-arduino/>, [acesso em 15 de Agosto].

Santos, K. Vinente dos. (2011). Fundamentos de eletricidade. Centro de Educação Tecnológica do Amazonas

Vilas Boas Siqueira, W. (2020). “O Microcontrolador Arduino Como Uma Central De Monitoramento De Consumo De Energia Elétrica”. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais.

What is Arduino? (2018). <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>, [acesso em 11 de Março].

<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/15495819/Retrospectiva+ANEEL+-+2019/73fd2b23-c540-8548-f7bd-554702f74133?version=1.0>, [accessed on Nov 20].